

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ШЛАКОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ИЗ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Рассмотрены свойства, и структура шлаков, образующихся из шлакообразующих смесей в процессе непрерывной разливки стали. Разработана методика определения толщины жидкого слоя ШОС на поверхности металла кристаллизаторе МНЛЗ. Рассмотрено влияние поверхностного натяжения жидкого шлака на качество поверхности заготовки.

При выборе оптимального состава шлакообразующих смесей (ШОС) для непрерывной разливки стали обычно учитываются вязкость и температура плавления ШОС [1-5]. В то же время, такие важные свойства шлака, связанные со структурой, как теплопроводность и поверхностное натяжение, которое влияет на смачиваемость, обычно не рассматриваются.

Кроме того, учитываются свойства, как правило, «свежих» смесей, т.е. до того, как они провзаимодействовали с металлом и не всегда учитываются изменения состава шлака в результате взаимодействия их с жидкой сталью (поглощение Al_2O_3) [1-3].

Поэтому, при выборе состава шлакообразующей смеси, применительно к той или иной скорости разливки стали, необходимо учитывать весь комплекс как физико-химических, так и теплофизических свойств.

Шлакообразующие смеси для непрерывной разливки стали, представляют собой силикатные системы на основе $CaO - SiO_2 - Al_2O_3$. Для изменения температуры плавления и вязкости шлакообразующих смесей обычно производят добавки Na_2O и CaF_2 . С повышением содержания Na_2O температура плавления и вязкость ШОС уменьшаются, причем наиболее сильное влияние соды на вязкость наблюдается при температуре 1200 °С. Вязкость ШОС сильно уменьшается с увеличением содержания Na_2O вблизи температуры затвердевания. В целом вязкость и её зависимость от содержания Na_2O снижается при повышении температуры [4].

Плавиновый шпат оказывает сильное влияние на вязкость и температуру плавления шлака, уменьшая их. При температурах 1200 – 1300 °С происходит значительное снижение вязкости шлака, тогда как при высоких температурах (1400 – 1500 °С) уменьшение вязкости происходит незначительно. Одновременные добавки Na_2O и CaF_2 показывают, что вязкость снижается в одинаковой степени обеими добавками, тогда как температура плавления явно снижается только под действием соды.

Важным критерием оценки качества ШОС является толщина слоя жидкого шлака в кристаллизаторе, которая определяет условия поступления шлака в зазор и качество поверхности сляба. На толщину слоя жидкого шлака влияет компонентный состав ШОС, определяющий скорость плавления смеси, а также ряд других факторов.

Для обеспечения «смазывающего» эффекта шлаковой прослойки, необходимо обеспечить достаточное поступление жидкого шлака в зазор между кристаллизатором и заготовкой. Для этого необходимо иметь определенную толщину слоя жидкого шлака на поверхности металла в кристаллизаторе. Для обеспечения стабильности процесса разливки и высокого качества заготовок, глубину слоя жидкого шлака следует поддерживать постоянной, ориентировочно в следующих пределах: 10-20 мм при отливке слябов[5].

¹ ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

² ПГТУ, аспирант

При недостаточной глубине слоя жидкого шлака сложно сохранить равенство скоростей плавления ШОС и инфильтрации шлака в зазор между заготовкой и кристаллизатором. В этом случае трудно также обеспечить равнотолщинный слой ШОС по периметру кристаллизатора.

Если глубина слоя жидкого шлака значительно превышает указанную величину, возникает вероятность образования над мениском металла в кристаллизаторе грубого ранта, который затрудняет проникновение жидкого шлака в зазор между слитком и кристаллизатором.

Таким образом, глубина слоя жидкого шлака над зеркалом металла в кристаллизаторе может служить дополнительным критерием контроля за процессом разливки. Существенные отклонения глубины слоя от заданных значений свидетельствует о том, что процесс идет не в оптимальном режиме и нужна корректировка технологических параметров.

Для оценки динамики изменения толщины жидкого слоя в реальных условиях непрерывной разливки, на слябовой МНЛЗ в конвертерном цехе ОАО МК «Азовсталь» было выполнено экспериментальное исследование толщины жидкого слоя ШОС. Исследования были проведены при использовании ШОС 5 и ШОС Т-4.

Тип ШОС	Химический состав %, мас							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	C	Na ₂ O	K ₂ O	F
5М (механического смешения)	35,1	30,6	8,6		8,8			8,1
Т-4 (на плавленной основе)	26,0	38,0	3,0	5,0	10,0	12,0	0,3	4,0

Химсостав ШОС приведен в табл. Измерения проводились на кристаллизаторе размером 250x1850 мм при скорости разливки 0,7м/мин, через 1; 2; 2,5 мин после подачи очередной порции ШОС. Для проведения исследований было сконструировано устройство, состоящее из трех видов проволок: латунной, стальной и алюминиевой. Длина проволок 65 мм. В ходе эксперимента устройство помещается на поверхность ШОС в кристаллизаторе, выдерживается заданное время и быстро вынимается. Из-за разности температур плавления проволок они оплавляются на разных уровнях. По разности длин проволок после замера были определены толщины слоев шлакообразующей смеси на поверхности металла в кристаллизаторе МНЛЗ. Установлено, что при использовании ШОС 5 толщина жидкого слоя составляет 5 – 6 мм, а при использовании ШОС Т-4 – 10 – 15 мм (рис 1). Это связано с тем, что при использовании плавленной ШОС вместо ШОС механического смешения, за счет увеличения скорости ее плавления, происходит увеличение толщины слоя жидкого шлака. Эти результаты подтверждаются и другими исследованиями [6], где указывается, что однородный состав шлака и большую толщину расплава на зеркале металла в кристаллизаторе можно получить, если использовать ШОС, подготовленные из предварительно сплавленных оксидных композиций. Толщина слоя жидкого шлака на поверхности металла в кристаллизаторе должна быть сравнима с ходом качания кристаллизатора.

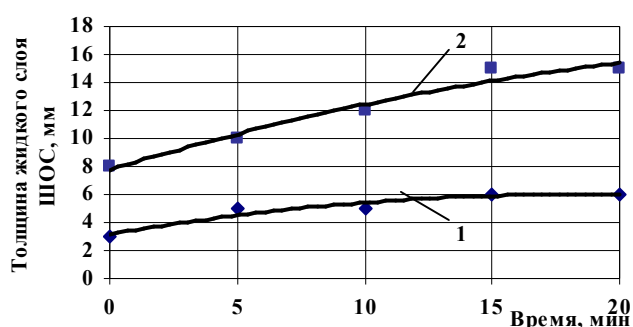


Рис. 1 – Зависимость толщины жидкого слоя ШОС на поверхности слитка в кристаллизаторе от времени:

1– ШОС 5М; 2 – ШОС Т-4.

Пленка шлака между заготовкой и кристаллизатором создаёт повышенное сопротивление теплоотводу от слитка к кристаллизатору.

Увеличение основности шлака снижает теплоотвод, за счёт уменьшения прозрачности шлака. Увеличение доли стекловидной фазы, за счет снижения основности увеличивает теплопроводность шлака.

Например, теплопроводность двух шлаков при температуре 1300 °С составляет [7]:

50% CaO, 35% SiO₂, 15% Al₂O₃ – $\lambda = 0,506 \text{ Дж/м}^2\cdot\text{с}\cdot\text{К}$

35% CaO, 45% SiO₂, 20% Al₂O₃ – $\lambda = 0,770 \text{ Дж/м}^2\cdot\text{с}\cdot\text{К}$

На теплопроводность слоя шлака влияет также пористость, которая снижает прозрачность плёнки. Возникновение пор происходит за счет выделения водорода при затвердевании. Так частота прорывов увеличивается при содержании водорода $\geq 6 \text{ см}^3/100\text{г}$ [8].

При увеличении скорости литья уменьшается толщина шлаковой плёнки и снижается расход ШОС, поэтому для повышения скорости разливки необходимо использовать шлаки с низкой вязкостью ($V = 0,8-1,0 \text{ м/мин} - \eta = 0,3-0,4 \text{ Па}\cdot\text{с}$; $V = 2 \text{ м/мин} - \eta = 0,1-0,18 \text{ Па}\cdot\text{с}$).

Снижение расхода ШОС может резко ухудшить условия смазки в кристаллизаторе. Поэтому, при повышении скорости литья необходимо уменьшить вязкость шлака. Необходимо также учитывать, что исходный шлак в процессе разливки значительно изменяет свой состав за счёт поглощения Al₂O₃ и алюминатов кальция (повышение содержания Al₂O₃ до 10 – 45%). Это влияет на основность шлака и его тепловое сопротивление[7].

В зависимости от эффективности применяемых систем против вторичного окисления, увеличение содержания Al₂O₃ в шлаке кристаллизатора составляет от 3 до 15%. Повышение содержания Al₂O₃ в шлаке преобразует кристаллическую структуру в стекловидную. Это более четко проявляется в ШОС с низкой исходной основностью. В этом случае при достижении определённого содержания Al₂O₃, шлак вместо кристаллической приобретает стекловидную структуру с высокой теплопроводностью, при которой у сталей перитектического состава количество продольных трещин возрастает.

К важным свойствам, которые не всегда учитываются при выборе ШОС для конкретных марок сталей и скоростей разливки, относится поверхностное натяжение расплавленных ШОС.

Увеличение поверхностного натяжения может служить причиной неудовлетворительного качества поверхности заготовки. Высокое поверхностное натяжение ухудшает смазывающие свойства ШОС, и если под действием каких-либо факторов покрытие из ШОС нарушается, восстанавливается оно с трудом. Это препятствует затеканию шлака в зазор между слитком и кристаллизатором и способствует образованию продольных трещин. Поэтому, при подборе состава ШОС важно учитывать значение поверхностного натяжения и при необходимости его регулировать.

Для оценки поверхностного натяжения расплавленных шлаков, можно использовать формулу (1), основанную на аддитивности влияния отдельных компонентов шлака на величину его поверхностного натяжения:

$$\sigma_s = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \bar{\sigma}_i, \quad (1)$$

где N_i – мольная доля компонента i в шлаке;

$\bar{\sigma}_i$ – коэффициент поверхностного натяжения для каждого компонента i .

Значения коэффициентов поверхностного натяжения зависят от величины силы ионного взаимодействия I (рис2) [9]:

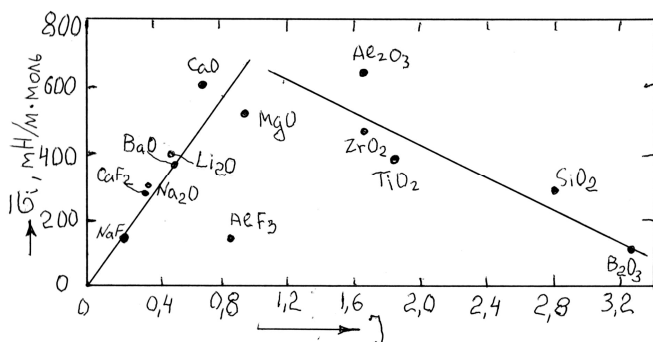


Рис. 2 – Зависимость коэффициентов поверхностного натяжения от силы ионного взаимодействия

Сила ионного взаимодействия связана с условиями взаимодействия соответствующих катионов и анионов, образующих данный оксид:

$$I = \frac{Z_+ \cdot Z_-}{(r^+ + r^-)^2}, \quad (2)$$

где, Z_+ и Z_- – величина заряда катиона и аниона;
 r^+ и r^- – соответственно ионные радиусы катиона и аниона.

Выводы

1. При использовании ШОС 5 толщина жидкого слоя составляет 5 – 6 мм, а у ШОС Т-4 – 10 – 15 мм. Это связано с тем, что при использовании плавной ШОС вместо ШОС механического смешения, за счет увеличения скорости ее плавления, происходит увеличение толщины слоя жидкого шлака.
2. При выборе ШОС для конкретных марок сталей и скоростей разливки необходимо учитывать и регулировать поверхностное натяжение расплавленных ШОС. Увеличение поверхностного натяжения может служить причиной неудовлетворительного качества поверхности заготовки. Высокое поверхностное натяжение ухудшает смазывающие свойства ШОС, и если под действием каких-либо факторов покрытие из ШОС нарушается, восстанавливается оно с трудом. Это препятствует затеканию шлака в зазор между слитком и кристаллизатором и способствует образованию продольных трещин.

Перечень ссылок

1. *Ефимов В.А.* Современные технологии разливки и кристаллизации сплавов / *В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов.* – М: Машиностроение, 1998. – 360с.
2. Улучшение поверхности непрерывнолитого слитка путем оптимизации свойств шлакообразующей смеси / *В.М. Паршин, В.М. Кухарцев и др.* // *Сталь.* – 1986. – №7. – С.22-24.
3. *Романюта В.А.* Оптимизация характеристик шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали / *В.А. Романюта, Е.А. Казачков* // *Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр.* – Мариуполь. – 2000. – Вип. 9. – С.55-60.
4. Effect of different flux powder composition on continuous casting slab and casting practice / *R. Scheel, W. Korte* // *Metallurgical plant and technology; MPT.* – 1987. – vol. 10. – № 6. – p. 22-32.
5. *Лейтес А.В.* Защита стали в процессе непрерывной разливки / *А.В. Лейтес.* – М: Металлургия, 1984. – 200с.
6. *Лидерфельд Х.* Характеристика рабочих свойств шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали / *Х. Лидерфельд, П. Хассельстром* // *Достижения в области непрерывной разливки стали.* – М: Металлургия, 1987. – С.90 – 99.
7. *Зайцев А.И.* Физико-химические основы нового метода управления отводом тепла от слитка к кристаллизатору / *А.И. Зайцев, А.В. Лейтес, А.Л. Либерман* // *Сталь.* – 2003. – №3. – С. 65 – 69.
8. *Задерман Ю.* Влияние сталеразливочной смеси на трещинообразование при непрерывной разливке стали на слябы / *Ю. Задерман, Г. Шреве* // *Черные металлы.* – 1991. – №12. – С.58 – 65.
9. *Sato R.* Powder fluxes for ingot making and continuous casting / *R. Sato* // 62-nd Nat. O.H. and BOS Conference. 1979. – v. 62. – P. 48-67.

Статья поступила 26.04. 2004